

II-형 PC로 보강된 합성 판형교량의 성능개선 효과

The Performance Evaluation of Reinforcement of Existing Plate Girder with II-Shaped PC Blocks

민경주*

Min, Kyung-Joo

이상대**

Lee, Sang-Dae

남보현***

Nam, Bo-Hyun

ABSTRACT

Recently, existing ballastless open deck railway bridges have been reinforced to have ballasted track to reduce noise, vibration, maintenance costs etc. In this study it is intended to evaluate the performance of reinforcement of existing plate girder bridge with II-shaped PC blocks.

By analyzing the results of the numerical analysis and the measurement in the bridges with II-shaped PC blocks the construction, it can be seen that the proposed new reinforcement method guarantees better structural safety and can reduce vibration and noised due to railway operation.

The proposed PC composite plate girder bridge is applicable to various existing plate girder bridges, increasesdurability of bridges. Thus, it is expected that the maintenancecosts of bridges can be decreased effectively.

1. 서론

철도는 1899년 경인선 개통과 함께 100여년동안 꾸준한 증설과 기술발전으로 국가산업의 중추적 역할을 수행하고 있다. 철도시설물중 판형교량은 공용기간이 100년을 초과한 거더가 경부선에 현재도 존재하고 있는 실정이다. 철도는 기술의 발달과 함께 속도향상과 유지보수노력의 저감 등을 위하여 노력하고 있으나 기존 선로에 다수 존재하는 판형교량은 기존선의 속도향상을 어렵게 함은 물론 유지관리에도 많은 노력이 요구되고 있는 실정이다. 기존 판형교량 중 설계하중이 LS-18로서 현재의 설계기준보다 낮은 등급 설계로서 이들 교량을 설계하중을 LS-22의 교량으로 성능을 개선시키고 있는 중이다.

설계하중 LS-18 판형교를 LS-22 판형교로 교체하거나 유도상화 즉, RC Slab 또는 RC Box 거더 형식으로 개선하고 있으며, 경우에 따라서는 교량을 개량(신설)하고 있는 실정이다. 이를 개선방법들은 서로의 장단점이 있으나 대부분 경제적 부담이 크고 공기의 증가와 시공상의 문제점들을 내포하고 있어 판형교 개량을 저해하고 있는 실정이다. 또한 판형교로 개량시키게 되면 비교적 경제적이며 시공이 간단함으로 자주 선택되고 있으나 이는 과도한 처짐과 진동문제는 오히려 증가되는 등의 문제점을 내포하고 있다.

2010년부터는 철도 교량도 환경소음의 규제를 받게 된다. 판형교량을 포함하는 강철도교량의 소음·진동 문제는 현재에도 많은 민원을 발생시키고 있으며, 시설관리 협업에서도 중요하게 대두되고 있다. 소음·진동을 저감시키는 방법으로는 소음·진동원, 전달경로 및 수진부를 개선하는 방법이 있으며, 주로 철도에서는 비교적 간편한 전달경로의 차단 즉 방음벽을 사용하여 저감시키고

* 한국철도시설산업(주)
** 한국철도공사 시설기술단
*** (주)철도안전연구소

연구소장
부장
선임연구원

정회원
정회원
정회원

있다. 그러나, 소음·진동원의 개선이 근본적인 방법이다. 열차는 전철화 및 차체 방음설비로 개선하고 있으며, 강철도교는 전술한바와 같이 유도상화로 개선하고 있는 실정이다.

상기와 같이 판형교의 개량은 환경소음의 문제, 유지관리 노력의 중대, 열차 운행 속도향상의 저해 등으로 개선이 요구되고 있으며, 한국철도공사에서도 이에 대한 노력으로 판형교량 개량사업을 교량개량 또는 유도상화를 추진하고 있으나 시공성, 공기 및 경제성 등의 문제가 대두되고 있다. 이러한 문제점에 착안하여 판형교량 상부구조에 II-형 PC 구조를 합성하여 성능을 개선시킨 합성형거더가 개발되었고 이는 비교적 경량으로 교량의 강성을 획기적으로 증가시키고 소음·진동을 저감하는 구조이다. 특히 시공성이 좋고, 단기간에 경제적으로 판형교량을 개선할 수 있는 기술이다. 본 연구는 기존 판형교량을 II-형 PC로 보강된 합성 판형교량과의 성능을 해석적인 방법과 현장 계측을 통하여 비교 검토하고 개선효과를 고찰하고자 한다.

2. 판형교량 성능개선 현황

판형교의 개량은 LS-18 판형교를 LS-22 판형교로 교체하여 설계수준을 높이거나, 유도상화 즉 RC Slab 또는 Box 거더형식으로 개선하고 있으며, 경우에 따라서는 교량을 개량(신설)하고 있는 실정이다. 이들 개선방법들은 서로의 장단점이 있으나 대부분 경제적 부담이 크고 공기의 증가와 시공상의 문제점들을 내포하고 있어 판형교 개량을 저해하고 있는 실정이다. 이러한 문제점에 착안하여 판형교량 상부구조에 II-형 PC 거더를 결합하여 개량하는 기술이 개발되었고 시험시공 등을 통하여 안전성 및 사용성의 향상과 소음·진동을 저감하는 구조이다.

2.1 교량의 신설

기존교량을 철거하고 새로운 교량을 신설하는 방법으로 대부분은 선형이 변경될 때 많이 적용되는 방법이다. 현재 기존선 전철화 구간인 경부선 수원-천안간에서 많이 사용된 방법이다. 그러나, 여기서 개량은 기존선로에서 판형교량을 철거하고 새로운 PC교량 등으로 교체하는 것을 의미하며, 경부선 영동천 1교, 호포천교 및 토교포교 등이 대표적인 사례들이다. 이들 방법은 대부분 신설교량의 선형이 여유가 없는 경우 특수선을 설치하여 열차를 우회시켜 기존교량을 철거하고 교량을 신설하는 방법으로 대부분 유도상화하여 판형교량을 개선하는 확실한 방법이나 공기와 작업의 안정성 및 비용의 증대 등의 문제가 있다.

2.2 LS-22 판형교량으로의 개량

이 방법은 기존의 LS-18 판형교(대부분 리벳이음형식)를 LS-22 판형교(용접이음형식)로 교체하여 설계수준을 높이는 방법이다. 안전성 측면에서 기존의 거더보다 향상되고, 비교적 경량이므로 시공성이 좋다. 그러나 기존의 LS-22로 거더 생활하는 방법은 강재의 하용응력에 주안을 두어 안전성 측면을 주로 고려한 설계로서 강성이 LS-18 리벳이음 거더보다도 낮은 경우가 대부분이다. 따라서 이들 거더들은 현재 진동의 문제가 기존 LS-18 리벳이음보다 더 크게 발생되고 있는 실정이다. 또한 본 방법은 진동, 처짐, 충격 및 소음 등 판형교량의 문제점을 근본적으로 개선시키지 못하고 있다.

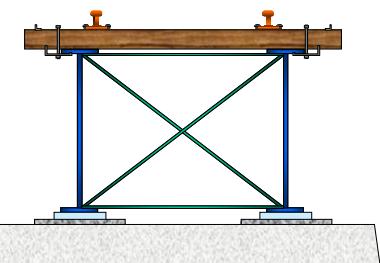


그림 1. LS-22 개량

2.3 유도상화

유도상화는 철도 현장에서 가장 선호하는 방법으로 판형교량을 개선하고 유도상화에 따른 유지 관리의 편리성 또한 크다. 이 방법으로는 RC Slab거더로 판형거더를 교체하거나, 또는 Box 거더형식(일종의 라멘형식)으로 개선하는 방법이 있다. 교량상 유도상화는 유지관리에는 유리한나 장기

적으로는 상부슬래브의 콘크리트와 자갈 충격으로 마모량이 많아 점으로 자갈 개완 등의 어려움이 따르게 된다.

가. RC SLAB거더로 교체

RC Slab거더로 교체하는 방법은 RC Slab을 현장 부근에서 제작하여 대형 크레인 등을 사용하여 기존의 판형 거더를 철거하고 RC Slab를 거치하는 방법이다. 경부선 천안천 2교 및 맹곡천교량 등에 적용한 방법으로 RC Slab 거더의 하중이 130ton(10m 거더)~180ton(13m 거더)으로 중량이므로 대형(800ton)크레인을 투입하여 교체하여야 한다. 최근에는 밀어넣기 공법으로 대형크레인의 투입을 대신하는 공법이 개발되어 유도상화에 활용되고 있다.

이 방법은 전술한 바와 같이 시공후에는 유도상화로 판형교량의 개선효과가 크다. 그러나, 상재 중량의 증가로 교대 및 교각 등에 대한 보강공사가 요구되며, 대형 크레인 사용에 따른 현장접근성의 부족으로 적용성이 크게 떨어지며 건설비용도 증가되게 된다. 20m 거더 등에는 사실상 적용이 불가능한 한계를 가지고 있다.

나. RC BOX화

RC Box화는 가장 간편하면서도 공사비가 저렴하고 시공에 따른 열차운행에 지장을 거의 초래하지 않으므로 철도 현업에서 선호하는 방법이며 판형교 개선의 좋은 대안이다. 경전선 옥곡천 교량 등에 적용된 바 있다. 그러나 본 방법은 많은 장점에도 불구하고 통수단면적이 감소되게 됨으로 홍수위가 충분히 확보된 경우에만 적용할 수 있는 한계가 있으며, 통수 단면적의 감소는 집중호우에 대한 충분한 검토가 있어야 가능한 방법이다.

2.4 II형 PC로 보강된 합성판형교

본 방법은 전술한 바와 같이 판형교량 유도상화 방법이 많은 장점에도 불구하고 시공성 경제성 등의 문제로 판형교량 개량 사업에 지장을 초래하고 있다. 따라서, 이러한 문제점등에 착안하여 판형교량 상부구조에 II형 PC부재를 결합하여 개선한 방법으로 비교적 경량으로 교량의 강성을 획기적으로 증가시키고 소음진동을 저감하는 구조이다. 특히 시공성이 좋고, 단기간에 저경비로 판형교량을 개설할 수 있는 방법이다.

3. PC 합성 판형교의 안전성 평가

개발된 PC 합성 판형교의 안전성을 검토하고 기존 판형교와 비교하기 위하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 가능한 한 구조물 특성을 잘 표현할 수 있도록 판형교량의 경우 래일, 침목 및 bracing과 girder 등을 Frame요소, Shell요소 및 Solid요소로 모델링하였다. 이와 같은 방법으로 거더 길이별로 모델링하고 해석하여 정적 수치해석 및 동적 수치해석 결과를 고찰하였다. 또한 PC 합성 판형교의 시공 방법에 따른 거더의 응력을 거더 길이별로 나타내고 기존의 거더와 비교 분석하여 나

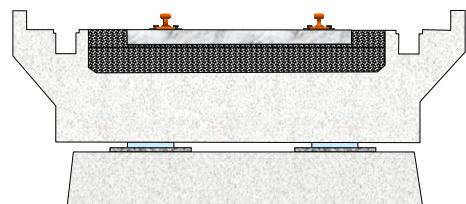


그림 2. RC 슬래브 교체

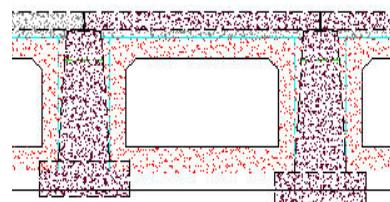


그림 3. RC BOX화

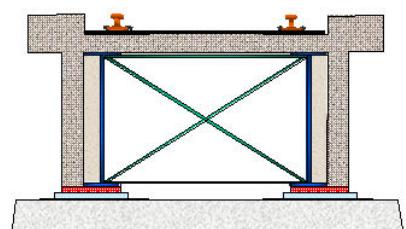


그림 4. PRS 거더 합성

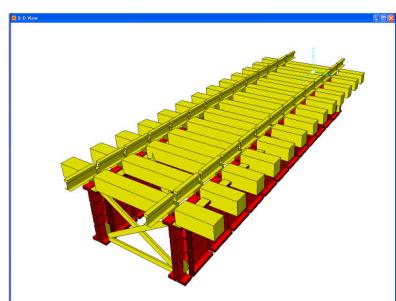


그림 5. 판형교 모델

타내었다.

(1) 활 하 중 : LS-22 및 기관차 2련연결 무궁화열차

(2) 사용재료

-콘크리트 : $f_{ck} = 280 \text{ kgf/cm}^2$

-PC 콘크리트 : $f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$

-철 근 : SBD 30 ($f_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$)

(3) 허용응력

-콘크리트 : $f_{cu} = 0.4 f_{ck} = 112 \text{ kgf/cm}^2$

(4) 탄성계수

-RC콘크리트: $E_c = 250,000 \text{ kgf/cm}^3$

-PC콘크리트: $E_c = 250,000 \text{ kgf/cm}^3$

-철 근: $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

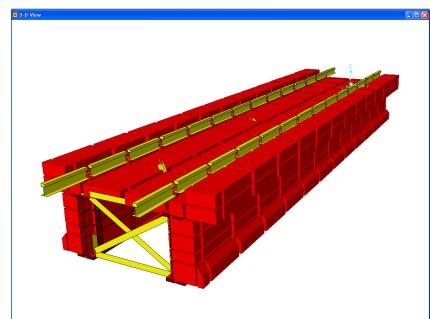


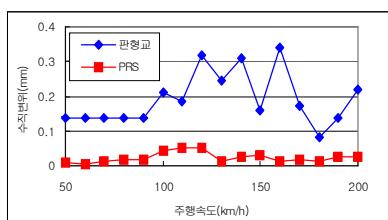
그림 6. 합성판형교 모델

표 1. 경간별 수직변위 및 수평변위

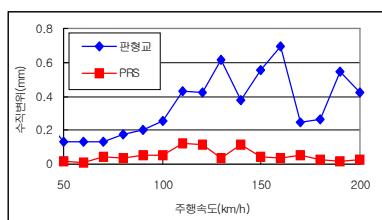
정적해석결과 기존 판형교량과 PC 합성판형교에 대한 처짐을 경간별, 하중재하별 비교하면 다음과 같다. 아래 표 1과 그림 7에서 보는 바와 같이 판형교량과 피씨 합성판형교의 경간별 수직처짐은 고정하중 재하시 9.2~46.9%, LS-22하중 재하시 73.1~80.9%, 기관차2량 하중 재하시 73.9~84.1% 정도 감소함을 알 수 있었다. 또한 경간별 수평변위도 74.7~85.8% 정도 크게 감소함을 알 수 있다.

구조물은 동적인 거동에서 문제를 야기하는 경우가 자주 있으며 특히 열차와 같이 일정 수준의 하중이 반복적으로 연행되는 경우에는 동적거동에 더 많은 문제를 안고 있다. 판형교량의 손상도 대부분 열차 운행에 따른 충격에 의하여 손상을 받는 것이 대부분 이의 영향이다. 판형교 거더와 PC 합성판형거더의 동적 처짐도 PC 합성판형거더의 수직 처짐은 판형교 거더의 약 3/4 정도로 낮게 나타남을 알 수 있다.

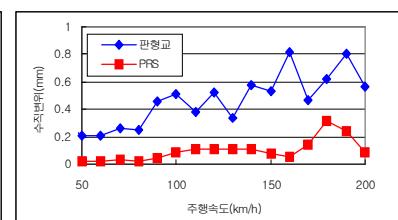
경 간	수직변위						수평변위					
	고정하중			LS-22			기관차2량			LS-22		
	판형	합성	저감 비%	판형	합성	저감 비%	판형	합성	저감 비%	판형	합성	저감 비%
6.0	-0.74	-0.67	9.2	-5.26	-1.47	73.1	-5.2	-1.36	73.9	0.9	0.13	85.8
9.0	-1.37	-0.73	46.9	+9.12	-1.78	80.9	-7.6	-1.21	84.1	2.1	0.41	80.2
12.1	-2.29	-1.34	41.4	-12.1	-2.77	78.0	-9.0	-1.77	80.4	2.5	0.62	74.7
15.2	-3.22	-2.43	24.6	-18.7	-4.17	78.2	-12.3	-2.67	78.3	5.2	0.95	81.8
18.3	-5.15	-3.61	29.8	-24.2	-5.17	78.9	-17.4	-3.61	79.2	6.0	1.33	77.8
21.3	-7.89	-5.24	33.6	-31.9	-7.17	77.8	-22.7	-5.26	76.8	9.2	2.02	77.9
24.4	-11.3	-8.75	22.6	-38.4	-8.27	78.6	-28.9	-6.24	78.4	11.0	2.26	79.4
30.0	-17.5	-12.50	28.6	-52.5	-12.47	76.4	-36.3	-8.58	76.4	17.2	3.75	78.2



(a). 무궁화 열차



(b) 새마을 열차



(c) KTX 열차

그림 7. 시간이력해석 결과

4. PC 합성 판형교의 현장 부설 및 계측

기존 판형교의 소음·진동의 개선, 거더의 처짐감소와 내하력 증진 및 열차속도향상을 위하여 개발된 개량된 PC 합성판형교를 현장부설 하였다. 부설한 개량된 PC 합성판형교는 부산광역시 해운대구 송정동에 위치한 송정천교($\ell = 5.5\text{m}$, 드와프 거더)로 교량 현황 및 제원은 다음과 같다.

표 2. 연정천교량 제원

선 별	동해남부선
역 구간	송정 ~ 기장
위 치	진기(환) 26k101
행정구역	해운대구송정동
선 로 구 배	상하별 단 선
	L
	직곡선 직선
종 별	상로교
직 사 별	직
설계하중	LS18
경간/면수	드와프형 4.6×2
거더길이	5.5m
준공년도	1944.



그림 8. 연정천 교량 전경



그림 9. PC합성교 부설전경



그림 10. 수직처짐



그림 11. 소음측정

PC 합성 판형거더 응력변형률은 161.45 $\mu\epsilon$ 에서 31.45 $\mu\epsilon$ 로 기존 판형거더에 비해 1/5로 감소하였고, 거더 진동가속도는 0.674G에서 0.380G으로 1/2로 감소하였으며, 교대 진동가속도는 0.186G에서 0.068G로 1/3로 감소하였으며, 거더 수직변위는 3.083mm에서 0.809mm로 1/4정도로 크게 감소함을 알 수 있었다.

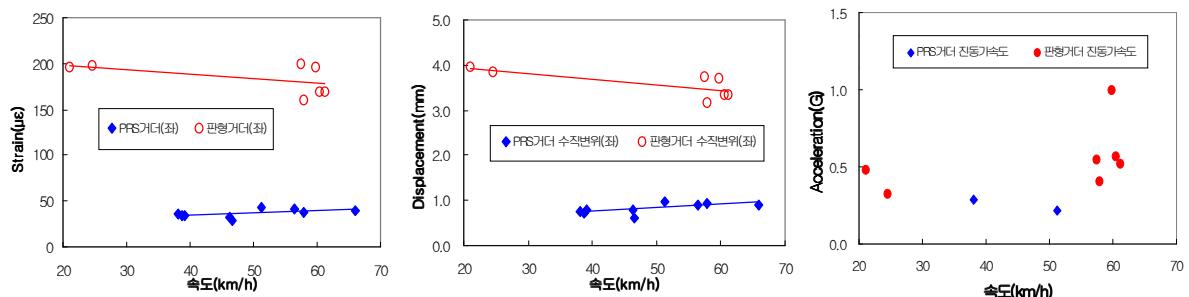


그림 12. PC 합성판형거더 및 기존 판형거더 계측 비교

소음측정은 연정천교량 시공 전·후로 수행하였으며, 소음측정기를 선로변과 궤도중앙에서부터 25m 이격시킨 후 계측하였다.

PC 합성판형거더 부설시험 현장계측결과 무궁화 열차 통과시의 음압레벨을 비교하면 평균적으로 최대소음도(Lmax)는 선로변에서는 110.7dBA에서 103.0dBA로 7.7dBA감소하였고, 12.5m에서는 99.1dBA에서 91.7 dBA로 7.4dBA감소하였으며, 25m에서는 90.5dBA에서 84.2dBA로 6.3dBA 감소하였다. 등가소음도(Leq)는 선로변에서는 102.1dBA에서 95.6dBA로 6.5dBA감소하였고, 12.5m에서는 90.9dBA에서 85.5dBA로 5.4dBA감소하였으며 25m에서는 82.6 dBA에서 78.8dBA로 3.8dBA 감소하였다.

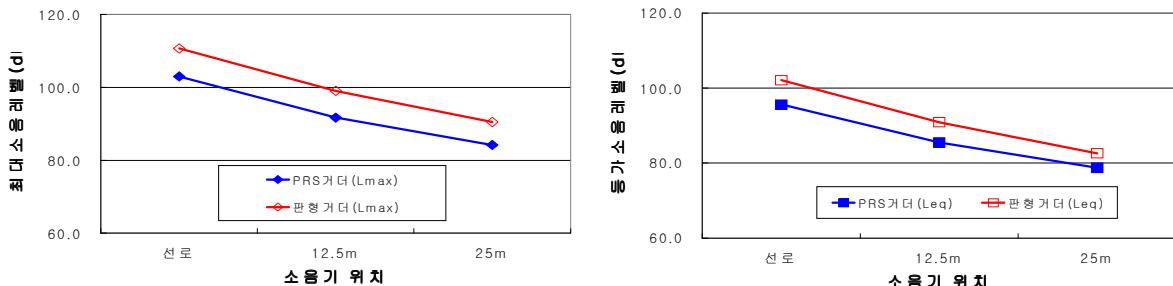


그림 13. 무궁화열차의 최대소음도 및 등가소음도 비교

소음측정결과 PC 합성판형교는 기존 판형거더에 비해 최대소음도(Lmax)는 선로변에서 107.6dBA에서 99.2dBA로 8.4dBA감소하였고, 12.5m에서는 95.6dBA에서 88.4dBA로 7.2dBA감소하였으며, 25.0m에서는 87.2dBA에서 81.4dBA로 5.8dBA감소하였다.

또한, 등가소음도(Leq)는 선로변에서 100.0dBA에서 92.8dBA로 7.2dBA감소하였고, 12.5m에서는 89.0dBA에서 83.5dBA로 5.5dBA감소하였으며, 25.0m에서는 81.7dBA에서 77.7dBA로 4.0dBA감소하였다.

기존 판형교거더와의 비교, 분석 결과와 같이 본 PC 합성판형교 시험부설 목적인 소음·진동의 감소로 철도판형교량을 친환경적으로 개선할 수 있고 궤도 및 교량의 유지관리 노력이 절감될 것으로 기대된다.

5. 결론

기존의 판형교량을 개선할 목적으로 개발한 PC 합성판형교는 기존 판형교의 단점을 보완하여 판형교량의 근본적인 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것으로 판형교량 등 강형교에 적용이 가능하며 이들에 대한 안전성 및 사용성을 현장실험을 통하여 고찰하였다..

정적해석결과는 주로 안전성측면에서 기존의 판형교량과 II-형 PC 합성판형교량에 대한 응력을 비교하였다. 기관차에 의한 응력은 강재의 피로와 피로 강도를 저하시키는 주하중으로서 기존의 판형교량과 II-형 PC 합성판형교량을 비교해보면 강재의 응력이 약 1/3~1/2 정도로 감소되고 처짐도 1/4정도로 감소되었다. 이는 II-형 PC 합성판형교량은 강재의 피로수명이나 과대 처짐 문제 등이 개선될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 교량의 내구성을 증가시켜 시설물의 유지관리, 보수·보강 등에 대한 노력이 감소되며, 이에 따른 유지관리비가 절감하여 철도운영에 이바지하게 될 것이다.

기존 판형교에 비해 소음도 3~4dB 정도 감소하여 친환경적인 시설물로 개량되며, 이에 따른 주민 민원등이 감소하여 철도 운영에 이바지 할 것이다.

표 4. 소음도 비교

구분	속도	선로		12.5m		25.0m	
		L _{max}	Leq	L _{max}	Leq	L _{max}	Leq
PC합성판형거더	57.9	99.2	92.8	88.4	83.5	81.4	77.7
판형거더	57.9	107.6	100.0	95.6	89.0	87.2	81.7
저감량(dBA)		8.4	7.2	7.2	5.5	5.8	4.0

참고문헌

- 철도안전연구소, II-형 PC로 보강된 합성 판형교량개발 보고서, 2002.7
- 한국철도기술연구원, 판형교유도상화 연구
- 중소기업청, 중소기업 기술혁신개발사업 “개량된 피씨 합성판형교 개발 및 상품화”, 2005. 6
- 철도안전연구소, 동해남부선 송정천교량 보강 시험시공 설계보고서, 2003.9
- 한국철도공사, 동해남부선 연정천교량 보강 설계, 2005.2